NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. HATT,

INGÉNIEUR HYDROGRAPHE DE LA MARINE.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1892

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. HATT.

AVANT-PROPOS.

Les travaux dont j'ai l'honneur de présenter le résumé à l'Académie, à l'appui de ma candidature, peuvent se ranger sous deux titres :

1° Les travaux exécutés en cours de campagne, sur les côtes de France et à l'extérieur;

2° Les Mémoires et les Ouvrages qui ont pu, comme je l'espère, contribuer aux progrès des sciences hydrographiques et géographiques.

Dans les premiers, auxquels s'applique le terme usuel de *services à la mer*, seront comprises les missions auxquelles j'ai été normalement attaché par mes fonctions spéciales, et les missions scientifiques qu'il m'a été donné de remplir, grâce à la bienveillance de l'Académie.

Les travaux de la deuxième catégorie ont été rédigés au Dépôt des Cartes et Plans, concurremment avec les travaux habituels, ceux que les ingénieurs hydrographes sont appelés à exécuter par les nécessités impérieuses du service cartographique.

Si l'Académie veut bien reconnaître quelque valeur à mes titres, c'est pour moi un devoir, en même temps qu'une satisfaction, d'en revendiquer une grande part en faveur de mes collègues.

L'habitude du travail en commun, l'échange continuel d'idées au sujet

des questions les plus élevées de la Science, les encouragements que l'on reçoit de ses chefs, les exemples que l'on a sous les yeux apportent autant de facilités pour l'accomplissement de notre tâche et ont singulièrement allégé celle que j'ai essayé de m'imposer.

Je dois un tribut de reconnaissance tout particulier à celui de mes chefs que l'Académie compte parmi ses Membres; c'est à ses leçons que je dois d'avoir appris quelque chose, et j'ai trouvé chez lui un encouragement constant en même temps qu'une bienveillance excessive.

Novembre 1892.

PREMIÈRE PARTIE.

MISSIONS HYDROGRAPHIQUES ET SCIENTIFIQUES.

Je n'ai pas lieu de citer les missions auxquelles j'ai été attaché au début de ma carrière : elles ne pouvaient servir qu'à mon instruction ; mais j'aime à me rappeler que c'est sous la direction de M. Bouquet de la Grye que j'ai fait ma première campagne à Alexandrie, en Égypte, au mois de décembre 1861.

Campagne de Cochinchine, 1865-1869.

C'est quatre ans plus tard, en 1865, que je fus envoyé seul à Saigon pour continuer les travaux commencés par mes prédécesseurs. La première reconnaissance des côtes et rivières de la basse Cochinchine avait été brillamment conduite par M. Manen, qui, en quelques années, avait publié un Atlas presque complet, et par MM. Vidalin et Héraud, qui lui avaient succédé. Il restait encore à glaner dans ce vaste champ au moment ou j'ai dû prendre la direction du service hydrographique, C'est vers le perfectionnement de la première œuvre que, sur la demande expresse du Dépôt des Cartes et Plans, devaient tendre mes premiers efforts. J'étais appelé, en 1866, à faire une reconnaissance nouvelle des embouchures du Cambodge et peu après à reprendre le levé de la partie basse de la rivière de Saïgon.

La conquête des trois provinces de l'Ouest, faite l'année suivante par M. le vice-amiral de la Grandière, devenait l'occasion de travaux d'une nature un peu différente. La France s'était annexé un territoire compris entre le cours du Cambodge et le golfe de Siam, pays bas, formé d'alluvions très récentes, vaste plaine de joncs, en partie submergée, accessible seulement aux bateaux pouvant naviguer sur de petits arroyos naturels ou creusés de main d'homme. Les Européens n'avaient pas, en quelque sorte, pénétré dans ces parages à peu 'près inconnus ou sur lesquels on ne possédait que

des renseignements géographiques très vagues. Je dus entreprendre l'exploration de ce delta humide et malsain, et c'est au mois de juin, à l'époque des fortes chaleurs, heureusement tempérées un peu par la mousson de sud-ouest, qu'il me fallut débuter dans ce travail ingrat et difficile.

Les moyens de travail mis à ma disposition consistaient en deux petites jonques de rivières et une barque manœuvrée par des bateliers indigènes ; deux matelots timoniers me prêtaient leur concours pour les observations. Nous étions les trois seuls Européens de cette petite expédition toute pacifique, car nous n'avions pour armes que deux fusils. Pendant de longs mois, il nous fallut lutter contre les obstacles sans cesse renaissants, provenant de la nature du terrain, qui rend les levés réguliers à peu près impossibles, provenant encore de la difficulté d'approvisionnement et des conditions sanitaires déplorables du pays. Je ne parle pas du découragement que pouvait provoquer l'isolement à peu près complet où je me trouvais : il ne restait pas assez de loisirs pour s'y abandonner.

Le prestige des conquérants était heureusement encore entier; nous n'avons pas été inquiétés par les bandes de rebelles ou de pirates dont les tentatives étaient toujours à redouter, comme l'a prouvé, deux années plus tard, l'agression du poste de Rach-Gia, suivie du massacre des quelques Européens qui s'y trouvaient. On me permettra de citer encore un souvenir à cette occasion : j'arrivai à ce poste un soir du mois d'août 1867, après avoir parcouru et levé l'interminable canal de Rach-Gia, creusé entre le fleuve du Cambodge et le golfe de Siam ; je trouvai l'inspecteur des affaires indigènes, M. Lemonnier de la Croix, dans une situation très critique. Il était, seul Européen, avec son secrétaire, absolument isolé, loin de tout secours et insuffisamment protégé par un détachement de miliciens indigènes dont la fidélité était d'ailleurs douteuse. Prévenu d'une attaque prochaine du poste, il avait envoyé demander du renfort à Hatien; mais, devant l'imminence du danger, l'hostilité des habitants étant manifeste, il était à craindre que le secours n'arrivât trop tard. Notre arrivée inopinée changea heureusement la situation. Cinq Européens réunis formaient, paraît-il, une force respectable ; la soumission des habitants ne se fit pas attendre.

Je terminai cette exploration au commencement de l'année 1868, par une campagne hydrographique dans le golfe de Siam et à Hatien, dont je déterminai la longitude par les culminations lunaires.

Au mois de mars suivant, je dus rechercher, à l'entrée de la rivière de Saïgon, un emplacement où il fût possible de créer un port de relâche pour les paquebots. On espérait attirer les vapeurs anglais qui passaient sans

s'arrêter devant le cap Saint-Jacques en allant de Singapoore à Hong-Kong. Après une exploration attentive des lieux, je proposai l'un des estuaires de la baie de Ganh-Ray, celui qui s'étend au sud de l'île de Nui-Neua. Le Rapport que j'ai fait à cette occasion a été approuvé en principe au Ministère de la Marine, mais le projet de port est resté sans exécution; les vapeurs remontent aujourd'hui encore les 50 milles de rivière qui séparent Saïgon de la mer.

Peu de temps après, je fus chargé d'une mission spéciale, nécessitée par la prochaine observation d'un phénomène astronomique important, l'éclipse de Soleil du 18 août 1868. L'arrivée d'une Commission scientifique française était annoncée, et le Ministre demandait que la reconnaissance et la préparation d'un terrain propre à l'observation fussent faites sur la côte Est de la presqu'île de Malacca. Je fus chargé de ce double travail, et, pendant que les cabanes d'observation étaient construites à Saïgon, je fis un premier voyage à bord du *Frelon* pour reconnaître la portion de côte située aux environs du passage de l'éclipse centrale.

Le mois de mai fut consacré au travail géographique, qui me permit de dresser, au retour, une Carte de la côte dont les reliefs principaux avaient été déterminés en même temps que les sondages étaient faits au point de vue des nécessités du débarquement du matériel astronomique.

Je retournai à Wha-Ton, c'est le nom de la localité où devait se faire l'observation, au mois de juin. Le Ministre de la Marine avait bien voulu m'adjoindre à la Commission, composée de MM. Stephan, Rayet et Tisserand. En attendant son arrivée, je m'appliquai à choisir le terrain propre à l'observation, à y installer des cabanes et à y construire une maison d'habitation. Cette tâche a pu être menée à bonne fin, en très peu de temps, grâce au concours de nombreux travailleurs indigènes, que dirigeait un chef siamois parlant un peu l'anglais et le français.

Notre palais en bambou était à peu près terminé quand arrivèrent les membres de la Mission, qui purent immédiatement installer leurs instruments et commencer les observations préliminaires. J'y pris part avec le cercle méridien portatif que j'avais apporté de Saïgon.

J'étais chargé, le jour du phénomène, d'observer les heures des contacts avec ce cercle méridien, que la monture du pied me permettait de disposer en altazimut, et de rechercher les raies brillantes de l'hydrogène au moment de la totalité.

C'est, comme on le sait, entre deux nuages que l'éclipse fut visible. Le premier et le quatrième contact échappèrent, il est vrai, à l'observation; mais

le ciel se découvrit subitement aux approches de la totalité, et les efforts de la Mission purent être couronnés de succès. J'ai pu noter les heures des contacts extérieurs et constater, au spectroscope, l'existence des raies brillantes de l'hydrogène. La durée exceptionnelle de la totalité laissait toute latitude aux observateurs. M. Stephan a bien voulu mentionner dans son Rapport la part que j'ai prise aux travaux de la Mission.

Je pus observer à Saïgon le passage de Mercure sur le Soleil au mois de novembre 1868, avec un télescope Foucault de $0^m,20$ d'ouverture que m'avait laissé la Mission astronomique.

J'entrepris, dans les derniers mois de l'année, une exploration des régions boisées situées au nord de Saïgon; le concours empressé de M. Olry, alors lieutenant de vaisseau, mort vice-amiral en 1890, me permit d'utiliser le télégraphe pour la détermination des longitudes des principaux postes.

Je consacrai le commencement de l'année 1869 aux dernières observations de culminations lunaires pour achever de déterminer la longitude de l'observatoire de Saïgon.

Pendant mon séjour de quatre années en Cochinchine, il m'a été possible de réunir plus de soixante résultats pouvant concourir à la détermination de cette position géographique; je n'ai présenté au Bureau des Longitudes que les derniers, au nombre de vingt environ, qui me paraissent devoir mériter le plus de confiance; j'avais pu mettre à profit les précieuses leçons des astronomes de la Mission de Wha-Ton.

Le Bureau des Longitudes a décidé que l'observatoire de Saïgon serait considéré comme méridien fondamental.

Revision de la côte sud de France.

J'ai été attaché, en 1872, à la campagne de revision de la côte sud de France, rendue nécessaire par les changements importants survenus depuis l'époque du premier levé en 1840.

Comme travail personnel et indépendant, je puis citer la détermination directe de la latitude du fort de Montalban, près de Nice, destinée à la mesure de la déviation très notable que subit la verticale en ce point sous l'influence de l'attraction du massif des Alpes. Les résultats de ces observations fournissaient une preuve nouvelle du parti qu'on peut tirer des excellents petits cercles méridiens de M. Brunner.

Voici les valeurs obtenues pour la latitude du fort :

Cercle à l'Ouest.		Latitude.	*Cercle à l'Est.*		Latitude.
25 mars	1re série.........	43°41'43",8	22 mars	....	43°41'44",8
	2e série.	43,8	26 mars	1re série.........	44,9
	3e série.........	44,6		2e série.........	44,5
	4e série.........	43,9		3e série.........	44,5

Moyenne adoptée .... 43°41'44",3

La triangulation géodésique a donné la valeur suivante :

43°42'4",1.

La déviation est donc de 20" environ, dans le sens nord-sud.

Mission de Port-Saïd.

Je dus interrompre momentanément mes travaux sur la côte de France, pour me rendre à Port-Saïd et faire la reconnaissance hydrographique des parages qui s'étendent autour de l'entrée du canal de Suez. Je levai le plan du port et de la rade, et je mis à profit mon séjour pour déterminer la position géographique du phare électrique.

La latitude était obtenue par deux séries de hauteurs d'étoiles, dont les résultats concordent à moins de 1",3; la longitude résultait de huit observations de passages lunaires.

Le Bureau des Longitudes a décidé que ce point serait considéré comme méridien fondamental.

Mission du passage de Vénus, en 1874.

Attaché, en qualité de second, à la Mission de l'île Campbell, dirigée par M. Bouquet de la Grye, j'ai fait de mon côté, avec un instrument indépendant, les observations astronomiques destinées à la détermination de l'heure, de la longitude et de la latitude du lieu.

J'ai pris part aux observations de Physique générale, et j'ai exécuté la triangulation complète de l'île. M. Bouquet de la Grye m'a confié la rédaction du compte rendu des divers travaux dont j'ai été chargé; elle est in-

sérée dans le Volume des *Memoires de l'Académie*, consacré aux Missions du passage de Vénus aux îles Saint-Paul et Campbell.

Mission de l'embouchure de la Seine.

Attaché, en 1875, à la Mission de reconnaissance des abords du Havre et de l'embouchure de la Seine, j'ai exécuté une partie des sondages, pendant le cours de la campagne.

Mission de la Rochelle.

M. Bouquet de la Grye, chef de la Mission, m'a confié, en 1876, le levé topographique de la côte, aux environs de la Rochelle. La comparaison du nouveau trait de côte avec celui de 1834 a permis de constater l'existence d'une érosion considérable, due à l'action de la mer. Elle atteignait, en certains points, jusqu'à $1^m,40$ par an.

Mission de Brest.

Les sondages du plan de la rade, levé en 1877, me sont dus en grande partie.

Mission scientifique du passage de Mercure.

L'Académie a bien voulu demander que je fusse chargé, en 1878, d'aller observer le passage de Mercure à Ogden, dans les montagnes Rocheuses. J'ai accepté la direction scientifique de M. Ch. André, astronome, que j'étais allé rejoindre aux États-Unis; sa compétence spéciale et les travaux qu'il avait poursuivis, sur l'origine et la formation du ligament, m'en eussent fait un devoir, si déjà je n'avais eu, en sollicitant la Mission, pour but principal de m'exercer en vue de la prochaine observation du passage de Vénus.

J'espère avoir contribué, de mon côté, au succès de la Mission, en me chargeant d'une grande partie des observations préliminaires, telles que détermination de l'heure et réglage des montres.

L'observation du passage a réussi, les chiffres trouvés par M. André et par moi pour la sortie de la planète sont suffisamment concordants et des expériences intéressantes ont permis de constater l'influence du verre

coloré sur les phénomènes de diffraction qui se manifestent aux environs du point de contact.

Mission scientifique du deuxième passage de Vénus, en 1882.

Appelé par la bienveillance de l'Académie à diriger, en 1882, la Mission de Chubut, j'ai été assez heureux pour réussir l'observation et pour pouvoir contribuer au succès des expéditions françaises.

Le Rapport que j'ai adressé à l'Académie sur les résultats de l'observation du passage a été inséré dans le numéro spécial des *Comptes rendus*; j'ai raconté, d'autre part, dans une conférence faite au Congrès qu'a tenu l'Association française pour l'avancement des Sciences, à Rouen, en 1883, toutes les péripéties et toutes les difficultés de notre voyage.

Il me reste, en me plaçant au point de vue spécialement géographique, à mentionner les observations qui ont eu pour but de déterminer la position absolue de la station de Chubut. La longitude de l'observatoire résulte d'un grand nombre de culminations lunaires, de l'observation d'occultations d'étoiles par la Lune et d'occultations des satellites de Jupiter. La latitude a été déterminée par trois séries de hauteurs méridiennes d'étoiles donnant des résultats très concordants.

Une triangulation a été exécutée pour relier l'observatoire de Chubut à la côte, dont le levé a été fait aux environs de l'embouchure de la rivière. Les opérations topographiques et hydrographiques comprennent tout le cours et la barre très difficile de la rivière, et ce dernier levé me permet de faire un projet d'amélioration de la barre, basé sur la construction d'un brise-lame à l'entrée.

La triangulation a été appuyée sur une base mesurée, en moins de deux jours, au moyen d'un ruban d'acier de 20^{m}.

Ces rubans n'étaient jusqu'alors considérés que comme des chaînes d'arpenteur un peu perfectionnées et les résultats qu'ils permettaient d'obtenir étaient d'une précision relativement médiocre. J'ai essayé, à cette occasion, un dispositif nouveau qui me paraissait devoir donner de meilleurs résultats. Le ruban était supporté par 5 bancs de 5^{m} de long et les positions de ses extrémités étaient obtenues, au moyen d'un curseur mobile, par rapport à des repères fixes marqués au milieu des bancs extrêmes de la portée; la mesure déterminait, par suite, la distance de ces deux repères et une portée variable était substituée à l'ancienne portée fixe. La disposition adoptée permettait de tendre le ruban avec un poids constant et de faire varier, à

volonté, les deux lectures des extrémités en vérifiant leur exactitude par la constance de leur différence.

Le résultat de l'opération a dépassé mes espérances. Voici les chiffres obtenus pour les deux mesures consécutives de la base de départ :

La première mesure a donné................ 1517m,113
La deuxième.................................... 1517m,114

La précision obtenue était tout à fait hors de proportion avec le but à atteindre, mais l'expérience qui montrait tout le parti que l'on pouvait tirer du ruban d'acier n'a pas été perdue.

Le procédé a été appliqué tel quel l'année suivante à la mesure d'une base en Tunisie et n'a pas donné de résultats moins satisfaisants; après avoir été perfectionné par la substitution d'un ruban à traits au ruban à bouts, il a servi à la mesure d'une deuxième base en Tunisie et plus tard, en 1889, à la mesure d'une base de 5400m en Corse.

Mission hydrographique des côtes de Corse.

Campagne de 1884.

Les Cartes marines des côtes de Corse levées en 1820 par M. de Hell étaient, à beaucoup de points de vue, jugées insuffisantes. Assez fidèles, quant au trait de côte et aux sondes, elles laissaient à désirer sous le rapport des détails topographiques, et la triangulation présentait de telles lacunes qu'il était très difficile de placer avec exactitude les points remarquables, tels que phares, sémaphores ou édifices quelconques n'existant pas à l'époque du levé. Du reste, elles étaient, sous tous les rapports, inférieures aux Cartes de la côte Sud de France levées vingt ans plus tard.

Cependant la mission envoyée en 1884 avait pour programme de borner ses opérations à une revision partielle des points les plus intéressants. La triangulation exécutée par l'État-Major en 1863 devait fournir dans chaque région revisée les positions des points remarquables sur lesquels s'appuierait le travail hydrographique. On espérait arriver ainsi à corriger d'une manière suffisante les Cartes existantes en évitant les dépenses et le travail que nécessiterait une réfection totale.

Les opérations étaient commencées depuis deux mois quand je fus nommé chef de la mission, en remplacement de M. Germain que sa santé obligeait à interrompre la campagne. Je ne tardai pas à être convaincu de l'insuffisance du programme primitif. L'échelle très petite $\frac{1}{100000}$ adoptée

pour la publication du levé de M. de Hell faisait disparaître les imperfections du détail qui devenaient manifestes par la comparaison de certains plans à grande échelle avec le terrain qu'ils étaient destinés à figurer.

En même temps, les tentatives qui avaient été faites pour rattacher les points de la côte aux signaux de triangulation de l'État-Major avaient révélé une série de discordances inadmissibles même pour une opération d'ordre secondaire. Il me semblait donc nécessaire de refaire tout le levé de la côte de Corse et de l'appuyer sur une triangulation nouvelle qui n'emprunterait à l'État-Major qu'un très petit nombre de bases choisies de manière à être définies par des signaux assez bien conservés pour que leur position fût la moins incertaine.

Tous les travaux de 1884 sur la côte Sud-Ouest et sur la côte Nord-Ouest ont été conduits de manière à pouvoir être rattachés l'année suivante à une triangulation indépendante, si le Ministre de la Marine décidait de faire continuer la mission conformément au programme élargi. Je réussis à faire partager ma conviction à l'autorité supérieure et je fus désigné pour diriger la mission de 1885, dont les opérations devaient comporter une plus grande extension.

Campagne de 1885.

Les travaux ont débuté au mois d'avril sur la côte orientale qui devient inhabitable à la fin de juin; ils ont été entrepris au sud de Bastia, au point où s'était arrêtée la reconnaissance de 1884.

Les opérations de sondes, topographie et triangulation, ont été, comme d'habitude, menées de front. J'ai exécuté personnellement celles de la triangulation, tout en conservant la direction des autres travaux.

Les signaux que j'ai employés ont été presque tous construits sur un modèle uniforme, calculé principalement en vue de la facilité de leur transport sur les sommets des montagnes. Il faut tenir compte, en effet, des conditions particulières très restrictives que présentent ces sommets très élevés, peu accessibles en général et toujours par de mauvais chemins. Le transport d'une grosse pièce de bois étant matériellement impossible, j'ai été amené à adopter un signal démontable, composé de poutrelles légères et de planches, et ayant la forme d'une pyramide quadrangulaire de $3^{m},50$ de hauteur sur $2^{m},50$ environ de base.

Les faces n'étaient garnies de planches que dans la partie supérieure jusqu'à $1^{m},50$ du sommet environ, et cette disposition présentait les avantages multiples d'exiger moins de transport, de rendre les signaux moins

sujets à être renversés par le vent et enfin de donner au signal un aspect tout à fait particulier qui empêchât de le confondre avec un rocher pointu en permettant de le reconnaître de loin à la bande de lumière paraissant au-dessous du sommet de la pyramide. La visibilité est très nette jusqu'à 35km ou 40km; mais l'angle au sommet paraît de plus en plus obtus, ce qui, du reste, est dans la logique des faits, puisque les parties aiguës doivent échapper aux regards à mesure que l'on s'éloigne.

J'ai fait usage du miroir solaire pour remplacer les signaux voisins de la côte, qui, en se projetant sur la mer, sont peu visibles des points élevés de l'intérieur. C'est pendant cette campagne que j'ai fait l'essai des signaux sphériques lumineux, qui n'ont pas besoin d'être manœuvrés comme les miroirs plans.

La base empruntée à l'État-Major pour la première chaîne, s'étendant de Saint-Florent à Aleria, était le côté Asto-St Angelo de Casinca. La chaîne se terminait au Sud par le côté Antisanti-Diane. Cette région malsaine d'Aleria, à l'embouchure du Tavignano, était atteinte par les opérations du levé à la fin du mois de juin, à l'époque où il devenait nécessaire de fuir la côte orientale.

Les opérations ont été reprises à la côte Sud, et une deuxième base, le côté Ovace-Tour Santa Manza, a été empruntée à la *Guerre;* la triangulation appuyée sur cette base a été conduite vers l'Ouest et le Nord jusqu'aux environs d'Ajaccio qui ont été atteints à la fin d'octobre.

Des calculs provisoires ont été exécutés au retour de la campagne pour la construction des minutes de sondes et de topographie.

Les points du réseau Nord ont été rapportés à la méridienne et à la perpendiculaire du clocher de Sainte-Marie de Bastia. Ceux du Sud ont été rapportés à l'origine Tour Santa Manza.

Campagne de 1887.

Les opérations avaient été interrompues non sans préjudice en 1886. En les reprenant l'année suivante, je constatai la disparition d'un certain nombre de signaux qu'il fallut remplacer. Les principaux repères étaient heureusement intacts.

Les travaux débutèrent, comme en l'année 1885, sur la côte orientale; le réseau du Sud fut prolongé de Santa Manza jusqu'à l'embouchure du Tavignano où il rencontra le réseau du Nord. La longueur du côté Antisanti-Diane s'est donc trouvée exprimée au moyen de la base du Nord et de celle

du Sud. La vérification fut loin d'être satisfaisante : ces deux longueurs de 17 000m environ présentaient une différence de 9m, que l'on ne pouvait, en aucun cas, attribuer aux erreurs d'observation. Il y avait de ce chef une incertitude de $\frac{1}{2000}$ sur l'échelle du travail ; si pareille incertitude peut être admise, à la rigueur, au point de vue topographique, elle ne saurait être tolérée pour un levé que l'on se plaît à considérer comme définitif.

Le programme de la mission allait donc recevoir une nouvelle extension, car il devenait nécessaire, pour sortir d'incertitude, d'appuyer le réseau sur des mesures directes de base et d'azimut.

La triangulation du nord de la Corse a eté, d'autre part, prolongée vers la côte Ouest; mais les opérations ont dû être arrêtées à Calvi ; l'hiver de 1887, arrivé très prématurément, n'a pas permis d'achever la chaîne qui ne devait s'arrêter qu'à Ajaccio pour fermer le circuit. Il faut ajouter que le travail a été particulièrement pénible et difficile par suite de la hauteur des stations situées sur les massifs de l'*Incudine* dans le Sud-Est et sur ceux de la grande chaîne de l'île dans le Nord-Ouest. Certaines stations ont demandé cinq à six jours par suite de la brume persistante qui enveloppe ces hauts sommets. La station de Monte Grosso a même exigé deux semaines entières.

A la fin de la campagne, j'ai déterminé, par des observations d'étoiles, la latitude astronomique de l'Ile Rousse; le résultat, qui a été communiqué au Bureau des Longitudes, diffère de 20″ de la latitude géodésique calculée par l'État-Major. Cette différence est très probablement due, en grande partie, à la déviation que subit la direction de la verticale sous l'influence de l'attraction du massif montagneux de la Corse.

Campagne de 1888.

Le travail de triangulation qui restait à faire en 1888 concernait la partie du réseau comprise entre Calvi et Ajaccio ; j'espérais le terminer assez tôt pour qu'il me fût possible d'entreprendre encore la mesure de la base avant l'arrivée de l'hiver ; mais le travail hydrographique proprement dit a absorbé presque tous mes efforts et j'ai dû, en fin de compte, remettre cette mesure à l'année suivante ainsi que les observations de longitude.

La jonction des deux réseaux sur la côte Ouest s'est faite par le côté Ciontra-San Sistro, évalué à la fois, au moyen de la base du Nord et de celle du Sud ; la différence des deux longueurs était proportionnellement la même que sur la côte Est. Cette constatation prouvait en faveur de l'exacti-

tude de la triangulation; l'incertitude qui existait sur la dimension absolue devait être levée par la mesure de base.

Des observations de latitude ont été faites à Ajaccio pendant les interruptions du travail hydrographique. En comparant le chiffre obtenu à celui de la triangulation de 1863, on constatait une déviation de la verticale de sens contraire à celle de l'Ile Rousse, mais plus faible en valeur absolue.

La mission n'a pu quitter la Corse qu'au commencement de décembre; mais ce n'était pas encore pour rentrer au port d'attache. J'étais chargé, avant la fin de la campagne, de lever le plan du golfe de Villefranche près de Nice, publié à trop petite échelle pour les besoins de la marine de guerre. Ce travail qui n'a exigé qu'une triangulation secondaire était terminé à la fin de décembre.

Campagne de 1889.

Comme il a été dit plus haut, le programme de 1889 ne comprenait que la mesure de base et les observations de longitude.

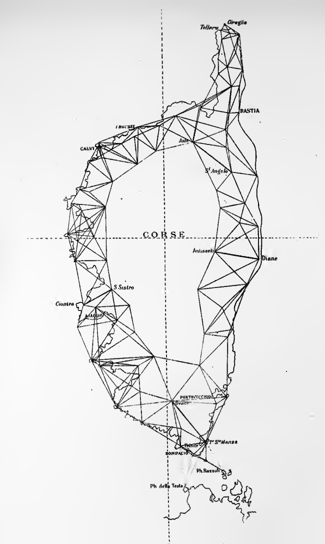
Mesure de base. — L'emplacement qui avait été choisi l'année précédente était situé à la Ronca, auprès de Calvi, dans une plaine inclinée qui sert de polygone pour les tirs de l'artillerie, en Corse. L'inclinaison est, en moyenne, de 2,2 pour 100, mais sa valeur varie beaucoup, au point d'atteindre, en certains points, dix fois ce chiffre.

Les deux termes de la base avaient été construits à 5400^{m} l'un de l'autre, aux deux extrémités de la plaine, vers les collines qui la limitent au Nord et au Sud. Ces termes avaient été rattachés en 1888 à la triangulation générale et il ne restait, par suite, que la mesure proprement dite à effectuer.

Mais les moyens dont je disposais étaient bien restreints; j'étais, en réalité, seul opérateur et le personnel qui devait me prêter son concours pour l'exécution mécanique de cet énorme travail ne se composait que de deux marins et de six cantonniers, commandés par un de leurs chefs.

Tout était à faire à mon arrivée sur le terrain de l'opération le 24 avril; le jalonnement et le défrichement de la piste ont pris cinq à six jours; au-dessous du maquis se trouvait un terrain d'une irrégularité excessive, tantôt formé de galets énormes, tantôt parsemé de trous provenant d'anciennes exploitations de charbon. Ces conditions ont rendu le travail très pénible et l'ont fait durer un mois entier; en réalité, c'était peu, étant données les difficultés à vaincre et l'insuffisance du personnel.

La mesure proprement dite a commencé le 1er mai; c'est avec un ruban


Giraglia
Tollero
BASTIA
I ROUSSE
Asta
CALVI
St Angelo
CORSE
Antisanti
Diane
S Sistro
Cruntra
AJACCIO
PORTOVECCHIO
Ovace
Tr Ste Manza
Trinite
BONIFACIO
Ph. Razzoli
Ph della Testa

d'acier de 20^m et en employant le procédé inauguré à Chubut, en 1882, et décrit plus haut, qu'elle a été faite.

Des précautions particulières avaient été prises pour déterminer la température du ruban qui est une des données les plus importantes et la plus difficile à obtenir, surtout à l'air libre. Le ruban a été enfermé dans une gaine d'étoffe blanche assez épaisse; des trous percés de distance en distance ont permis d'introduire des thermomètres très sensibles dont la lecture était faite immédiatement après la lecture de chaque portée. Cette disposition ne gênait en rien l'action des poids tenseurs. Il y avait lieu d'espérer que, en l'absence de tout rayonnement, le ruban prendrait une température assez constante, celle du milieu qu'il partageait avec les thermomètres. L'expérience semble donner raison à cette supposition, car les deux mesures exécutées consécutivement ont été faites dans des conditions de température assez différentes et les deux résultats sont presque identiques.

La première mesure a donné..............	269 rubans à 0° +	$2494^{mm},60$
La deuxième mesure a donné.............	269 rubans à 0° +	$2484,19$
	Différence...........	$10,41$

La différence de $10^{mm},41$ est absolument insignifiante, étant donnée la longueur de la base, $5383^m,68$; la moyenne de ces chiffres n'est affectée que d'une incertitude de 5^{mm} ou de $\frac{1}{1000000}$.

L'étalonnage du ruban a été obtenu par la mesure directe au moyen d'une règle en laiton comparée à Breteuil, par les soins de M. le D[r] Benoît. Cet étalonnage ne comporte lui-même qu'une incertitude de $\frac{1}{200000}$ qui doit être prise pour celle de la mesure de base.

Observations de longitude. — La deuxième partie de la campagne du 8 juin au 4 août a été consacrée à des observations astronomiques destinées à relier la Corse au continent.

Le travail a été exécuté en collaboration avec M. Perrotin, directeur de l'Observatoire de Nice et avec le concours de mon collègue M. Driencourt. L'Observatoire de Nice a été relié télégraphiquement à la cabane méridienne de l'île Rousse et à celle d'Ajaccio, et ces deux cabanes ont été reliées entre elles. De nombreuses déterminations d'équations personnelles des trois observateurs assurent contre toute cause d'erreur sous ce rapport. Du reste, les observateurs de Nice et de l'île Rousse ont permuté leurs stations.

Campagne de 1890.

L'année suivante, la direction de la mission hydrographique fut confiée à mon collègue, M. Bouillet; mais j'ai dû, en même temps, opérer d'une manière indépendante pour terminer le travail de triangulation en prolongeant le réseau à travers la presqu'île du cap Corse. La campagne, commencée le 8 septembre, n'a été terminée que le 15 décembre; les difficultés à vaincre étaient nombreuses, en raison de la saison déjà très avancée et de la forme très abrupte des montagnes du cap Corse. Il faut ajouter que, dans cette presqu'île étroite, dont les deux versants sont absolument distincts, la triangulation ne peut avancer que par très petites étapes; il faut autant de stations pour cette étendue de 30^{km} que pour une étendue trois fois supérieure dans le restant de l'île.

Rédaction définitive du travail.

Dans la plupart des missions hydrographiques les opérations de triangulation, topographie et sondes sont menées de front, car il devient nécessaire d'utiliser le plus possible le personnel et les moyens d'action mis pour un temps très limité à la disposition des ingénieurs. Les topographes et les hydrographes ont immédiatement besoin, pour la construction du travail, des positions des signaux que la triangulation doit fournir le plus rapidement possible. Aussi est-on presque toujours conduit à faire un premier calcul provisoire avec les données dont on dispose par avance. C'est ce qui avait été fait, comme il a été dit plus haut, pour tous les points de la Corse rapportés à deux origines : le clocher de Sainte-Marie de Bastia pour le Nord, et la tour Santa Manza pour le Sud.

Un pareil calcul ne comporte pas de vérification de positions absolues, car aux points de jonction des réseaux les coordonnées sont rapportées à des origines différentes.

Les vérifications ne pouvaient s'obtenir qu'en employant une origine unique et un système de coordonnées définissant d'une manière rigoureuse la position d'un point.

C'est en vue de cette vérification que j'avais proposé, dès 1886, le système des coordonnées azimutales par lequel les azimuts et distances à l'origine, sur la sphère, sont transportés en vraie grandeur sur un plan, déformant ainsi les figures sphériques d'une manière uniforme et rigoureusement définie. En appliquant des corrections très simples aux mesures angulaires, on

les transforme de manière à convenir à ces figures modifiées et l'on a le très grand avantage d'opérer dans un plan.

J'ai entrepris d'appliquer ce système théorique à la rédaction définitive du travail et j'ai rapporté tous les points à une origine centrale fictive, située dans le voisinage de Monte-Rotondo, l'un des sommets les plus élevés de l'île. Un certain nombre de points de la région Nord-Ouest ont été déterminés simultanément en appliquant des méthodes de compensation à l'ensemble des observations.

De ce noyau sont parties les deux chaînes, l'une par le Nord et l'Ouest et l'autre par le Sud, venant se rejoindre auprès de Bonifacio. Le côté de jonction était celui qui a servi de base provisoire pour le réseau Sud : Ovacetour Santa Manza.

Les vérifications portaient sur trois points : 1° positions absolues ; 2° longueur du côté de jonction ; 3° orientation de ce côté.

Elles ont été très satisfaisantes, la précision obtenue ayant été respectivement $\frac{1}{110000}$, $\frac{1}{130000}$ et $\frac{1}{200000}$.

La nouvelle triangulation de la côte de Corse semble donc très bonne et constitue un progrès très notable sur tout ce qui existait auparavant.

Il est à remarquer que toutes ces positions sont exprimées en coordonnées métriques et qu'elles se prêtent immédiatement à tous ces genres de vérification. D'habitude on ne poursuit les vérifications que pour les longueurs des côtés des triangles et l'on exprime les positions absolues par des coordonnées géographiques, longitudes et latitudes.

Ces dernières quantités résultent immédiatement des coordonnées telles qu'elles sont définies dans notre système, mais leur calcul peut encore être très notablement simplifié si l'on passe par l'intermédiaire de coordonnées que j'appellerai *orthogonales*, la distance à la méridienne et la distance de l'origine au pied de la perpendiculaire. J'ai montré que les coordonnées orthogonales X et Y se déduisaient des coordonnées rectangulaires x et y au moyen des relations très simples

$$X = x\left(1 - \frac{y^2}{6r^2}\right); \qquad Y = y\left(1 + \frac{x^2}{3r^2}\right),$$

où r désigne le rayon moyen de la Terre dans la région considérée.

J'ai indiqué (*Comptes rendus*, t. CX, p. 459) les formules servant au calcul des positions géographiques quand on connaît les quantités X et Y.

Je dois mentionner encore, comme progrès réalisé dans l'usage des coordonnées x et y, les formules suivantes qui servent au transport des axes parallèlement à eux-mêmes.

Si a et b sont les coordonnées d'une nouvelle origine, x, y, x', y' les coordonnées d'un point par rapport aux anciens et aux nouveaux axes, on a

$$x' = x - a + \frac{ay' - bx'}{6r^2}(b + 2y'),$$

$$y' = y - b - \frac{ay' - bx'}{6r^2}(a + 2x').$$

Ces formules se prêtent très aisément à une évaluation numérique quand on veut construire un Tableau des corrections qui forment termes complémentaires. Ces Tableaux ont été dressés, en Corse, pour un certain nombre d'origines choisies tout autour de l'origine centrale, de manière à présenter des coordonnées a, b exprimées par des multiples de 10000^{m}. En donnant à x' et y' des valeurs variant de 5^{km} en 5^{km} dans les limites de $\pm$ 30^{km} on obtient par un calcul très rapide des corrections qui, aux distances les plus grandes, varient extrêmement peu dans l'intervalle de 5^{km}, de sorte que les interpolations peuvent se faire à vue. En corrigeant ainsi des coordonnées de points éloignés de l'origine centrale et dont les situations sont, par là même, un peu altérées, on les rapporte effectivement à une origine distante au plus de 30^{km}, de sorte que les valeurs obtenues correspondront exactement à leurs positions relatives. Par ce moyen, tous les points secondaires calculés primitivement avec les données provisoires ont pu être rapportés par une simple transformation de coordonnées à l'origine définitive.

Il faut signaler enfin une anomalie remarquable présentée par la direction de la verticale et qui fait que les latitudes que l'on obtient géodésiquement pour l'origine, en partant des observations astronomiques faites à l'île Rousse et à Ajaccio, diffèrent entre elles de 27″,7. Plus forte de 20″ que la latitude à l'île Rousse, la latitude astronomique est plus faible, d'environ 5″, à Ajaccio, que la latitude adoptée par les Cartes. En ajoutant à ces 25″, 2″,7, provenant de la diminution d'échelle, par suite de la nouvelle mesure de base, on tombe sur la différence ci-dessus de 27″,7. En calculant (*voir* plus loin deuxième Partie) la valeur théorique de l'attraction locale en divers points de la Méditerranée, j'avais obtenu une déviation de 53″ à Nice et d'environ 20″ dans le voisinage de l'île Rousse. La première valeur était trois fois plus forte à peu près, ce qui indiquait une densité relativement faible pour les montagnes de la région de Nice. L'accord constaté sur la côte de Corse tendrait à prouver que les montagnes de l'île sont très massives et beaucoup plus denses que celles du continent.

DEUXIÈME PARTIE.

MÉMOIRES, PUBLICATIONS, ETC.

Réduction au méridien des observations de passages.

Annales hydrographiques, 1873.

Ces formules ont été calculées en tenant compte des déviations produites sur la hauteur des astres par la réfraction et la parallaxe, cette dernière cause surtout, qui peut acquérir une assez forte valeur quand l'astre observé est la Lune. J'avais eu à me préoccuper de cette question en observant des culminations lunaires en Cochinchine, où la grande hauteur méridienne de l'astre rend maxima les corrections instrumentales provenant de l'erreur d'inclinaison de la lunette, ainsi que l'effet de la parallaxe sur la variation de ces corrections.

Les formules montrent que, dans beaucoup de cas, il y a lieu de tenir compte de ces déviations. J'ai reproduit la substance de cette Note dans le *Traité du cercle méridien portatif*, publié en 1880.

Note sur diverses manières de calculer la longitude au moyen des culminations lunaires.

Annales hydrographiques, 1873.

J'ai signalé, en 1867, une erreur de l'Ouvrage de M. Laugier, sur le cercle méridien portatif, au sujet de la manière de calculer l'ascension droite du bord éclairé de la Lune avec l'heure du passage de ce bord aux fils de la lunette. A cette occasion, j'ai indiqué diverses manières de conduire le calcul de la longitude; cette Note a été insérée dans les *Annales hydrographiques*, et la substance en a été reproduite dans mon *Traité du cercle méridien*.

Mémoire sur la détermination de la longitude de l'observatoire de Saïgon.

Ce travail, inséré dans la *Connaissance des Temps* de 1875, est le résumé des observations faites pendant mon séjour en Cochinchine pour arriver à la détermination de la longitude du point d'origine des positions géographiques de notre colonie. J'ai donné un aperçu des méthodes employées et j'ai discuté la valeur des instruments méridiens portatifs.

Rapport au Bureau des Longitudes sur la détermination de la position géographique du phare de Port-Saïd.

Dans ce Mémoire, inséré à la suite du précédent, dans la *Connaissance des Temps* de 1875, j'ai rendu compte du résultat des observations de longitude et de latitude faites à Port-Saïd au mois de juin 1872.

La détermination de la longitude est basée, comme il a été dit précédemment, sur des observations de culminations lunaires. La latitude est obtenue par deux séries de hauteurs d'étoiles. J'ai signalé à cette occasion deux faits curieux :

1° Une oscillation très régulière et d'une période très courte de l'image des fils obtenue dans le bain de mercure nadiral;

2° Un déplacement considérable du sol sous l'influence du poids de l'observateur.

Ces deux faits peuvent tenir à une très grande mobilité du sol, qui oscillerait sous l'influence du choc de la lame. Le deuxième est prouvé par la différence des lectures du nadir, qui variaient de 9″ quand l'observateur passait du nord au sud de l'instrument. En tenant compte de ces différences, les latitudes obtenues par les étoiles culminant au sud ou au nord étaient, du reste, très concordantes.

Micromètre pour l'observation des cornes de Vénus.

M. Fizeau a bien voulu présenter à l'Académie, en 1874 (séance du 9 mars), une Note où je préconisais l'emploi d'un micromètre composé de deux fils croisés, faisant entre eux un angle très faible, pour l'observation du diamètre des cordes, ou cornes communes aux disques du Soleil et de Vénus, pendant l'entrée et la sortie de la planète.

Cette disposition a été réalisée pour quelques-uns des instruments du passage de 1882 non pourvus des prismes d'Arago.

Note sur l'orientation du châssis porte-plaques de l'appareil photographique du passage de Vénus.

Au mois d'avril 1874, un peu avant mon départ pour l'île Campbell, j'ai présenté à la Commission du passage de Vénus une Note indiquant la méthode à suivre pour arriver à calculer l'inclinaison du châssis photographique sur la verticale quand on connaît la direction de la lunette et l'heure du lieu. Le fait de limiter la photographie à une bande étroite parallèle à la plus courte distance de la planète au Soleil obligeait à prévoir très rigoureusement l'inclinaison du châssis porte-plaque. J'avais calculé les diverses valeurs de cette inclinaison pendant la durée du passage, pour la station de l'île Campbell. La Commission du passage de Vénus me chargea, à la suite de cette Communication, d'effectuer ces mêmes calculs pour les trois autres stations françaises : Yokohama, Pékin et Saint-Paul. Je communiquai les résultats obtenus dans une deuxième Note présentée à la Commission.

Ces deux Notes ont été imprimées et distribuées aux observateurs avant leur départ. Elles ont été insérées plus tard dans le Volume des *Mémoires de l'Académie* intitulé : *Recueil de Mémoires, Rapports, Documents relatifs à l'observation du passage de Vénus*.

Influence des courants sur les mesures de profondeurs obtenues au moyen des lignes de sondes.

Ce travail, inséré dans les *Annales hydrographiques* (t. XL, 1877), était inspiré par le désir de vérifier le degré d'exactitude de sondages obtenus au milieu d'une eau courante. C'est, si l'on veut, une enquête théorique basée sur l'action connue que les liquides en mouvement exercent sur les corps plongés et maintenus immobiles. Un plomb et la corde qui le soutient, immergés tous deux, opposent au courant une certaine résistance, qui a pour effet de déformer la corde et de fausser, dans une certaine mesure, l'évaluation de la profondeur. L'action du courant sur un élément de surface normal à sa direction étant supposée connue, on arrive aisément à calculer

son action sur un élément de longueur de corde incliné d'une manière quelconque. La corde étant soumise, d'autre part, à l'action de la pesanteur, en raison surtout de la présence du plomb, les conditions de l'équilibre résulteront de la combinaison de ces deux forces, et, en appliquant les théories du polygone funiculaire, on arrive aux équations différentielles qui déterminent la tension et la forme de la corde.

On voit immédiatement que la tension varie proportionnellement à la profondeur du point de la corde que l'on considère. Le coefficient proportionnel est nul quand la corde a la même densité que le liquide, c'est-à-dire quand son poids dans l'eau est nul; dans ce cas, qui est à peu près réalisé pour les cordes, la tension reste constante et l'équation différentielle dont dépend la forme de la courbe est susceptible d'être résolue.

La solution obtenue sous forme explicite représente une courbe transcendante à branches infinies jouissant de propriétés assez curieuses. La rectification de la courbe peut être aisément obtenue, et l'on possède ainsi l'élément essentiel de la question.

J'examine deux cas distincts donnant lieu chacun à une détermination différente pour les constantes du problème. Je suppose, en premier lieu, la ligne ou corde fixée au fond de l'eau, en un point situé verticalement au-dessous de celui qui apparaît à la surface; j'évalue, dans cette hypothèse, la longueur et la tension de la corde. Je suppose ensuite la ligne abandonnée au courant avec le plomb qu'elle supporte, et je cherche à quelle profondeur descendra ce dernier.

De la discussion à laquelle donnent lieu ces hypothèses ressort un premier fait : c'est que, pour sonder dans une eau courante, on est dans de meilleures conditions quand le bateau est en mouvement que s'il reste immobile, et, comme second fait, que, dans ce dernier cas, il vaut mieux jeter son plomb vivement, en le laissant en quelque sorte tomber verticalement, quitte à raidir la corde plus tard, que de filer la ligne à la demande.

Des Tableaux numériques, calculés avec les valeurs admises généralement pour la pression sur un élément de surface normale au courant, fournissent des résultats intéressants et permettent de se rendre compte de l'erreur, très grande dans certains cas, que l'on est exposé à commettre sur l'évaluation des profondeurs quand le courant est un peu fort.

Comme application du premier cas, citons, par exemple, ce fait que, pour une profondeur de 25^{m} et un courant de $1^{m},5$ par seconde, si l'on veut qu'il n'y ait, en opérant avec une ligne de sonde de $0^{m},009$ de diamètre, qu'une erreur de $0^{m},75$ sur la mesure obtenue, il faut que la tension de la ligne

soit au moins de 52^{kg}. Dans ces conditions, pour que le plomb reste au fond, il faudra qu'il pèse au minimum 48^{kg}.

Comme application du deuxième cas, on constate que, dans les conditions ci-dessus, le plomb de 48^{kg}, abandonné dans l'eau à la demande de la ligne, descendra jusqu'à une profondeur de 45^{m} seulement, et qu'une fois cette profondeur atteinte, il sera entraîné par le courant, si l'on file encore de la ligne.

Décomposition de la marée en ondes élémentaires.

Dans ce Mémoire, inséré en 1878 dans les *Annales hydrographiques*, je me suis attaché à bien préciser la nature de la périodicité que présente le phénomène de la marée, composé d'une série d'ondes de périodes diverses, et j'ai indiqué de nouvelles formules servant à dégager les ondes de chaque période principale, quand l'observation a fourni la marche générale du phénomène.

La périodicité de l'ensemble est nécessairement imparfaite, et, dans ces conditions, il est impossible de dire que le phénomène a une période naturelle bien définie. Tout ce que l'on peut faire, c'est de rapporter le mouvement du niveau de la mer à l'une des périodes qui s'en rapprochent le plus comme durée, celle de la variation de l'angle horaire du Soleil ou de la Lune. Si l'on désigne par x l'une de ces quantités et par y l'élévation variable du niveau de la mer, on pourra, de toute façon, établir une relation de la forme suivante

$$y = C_0 + C_1 \cos x + C_2 \cos 2x + \ldots + S_1 \sin x + S_2 \sin 2x + \ldots,$$

où C_0, C_1, ... sont des coefficients constants.

La périodicité étant imparfaite, y ne reprendra pas la même valeur quand x aura varié d'une circonférence. Le développement aura donc un nombre illimité de termes, et il se produira une solution de continuité aux extrémités de la période. Ce serait là une conception peu rationnelle du phénomène des marées; il convient évidemment de faire des coefficients C_0, C_1, ... des quantités variant d'une manière continue avec x. J'ai supposé que, pour trois périodes consécutives, la variation pouvait être exprimée par une formule du deuxième degré en x, et j'ai cherché à appliquer, dans cette hypothèse, laméthode de détermination des coefficients C_0, C_1, ... par les intégrales définies.

Quand ces coefficients sont constants, on démontre en Analyse les formules générales

$$\pi C_n = \int_a^{a+2\pi} y \cos nx\, dx, \quad \pi S_n = \int_a^{a+2\pi} y \sin x\, dx, \quad \ldots,$$

qui permettent de déterminer par une simple intégration les valeurs des divers coefficients C_0, C_1, ... Comme je les suppose variables, l'intégration me donne, outre le terme principal, une série de termes où entrent les constantes des coefficients et les éléments de leurs variations. Ces quantités, y compris le terme constant, sont au nombre de trois pour chaque coefficient. Les quadratures obtenues pour trois périodes consécutives, en considérant successivement l'argument de chaque coefficient, fourniront donc autant d'équations qu'il y a d'inconnues à déterminer.

Je me suis borné, dans le Mémoire en question, à examiner le cas de la coexistence des trois ondes principales : l'onde à longue période correspondant au terme C_0, l'onde diurne et l'onde semi-diurne qui correspondent aux quatre coefficients C_1, S_1, C_2, S_2. Il y a, par le fait de ces cinq coefficients, quinze inconnues à déterminer au moyen de quinze équations. Je suis arrivé à résoudre le problème d'une manière très simple et à donner les formules générales et numériques au moyen desquelles s'expriment les constantes des coefficients.

Pour vérifier ces formules et me rendre compte du degré d'approximation que la méthode permet d'atteindre, j'ai calculé les éléments d'une marée théorique dont les coefficients suivraient exactement la loi de variation précédemment indiquée, et j'ai appliqué le procédé de décomposition aux nombres ainsi obtenus. Les résultats n'ont pas différé sensiblement des chiffres théoriques connus par avance, et le nombre des ordonnées employé n'était que de vingt-quatre.

J'ai étendu plus tard ces formules au cas où l'on adjoint aux ondes considérées les ondes tiers et quart diurnes, ce qui porte à neuf le nombre des coefficients à déterminer; les formules ont été appliquées à des courbes du marégraphe de Brest; j'ai décomposé un mois environ de ces courbes, et j'ai pu me rendre compte de la facilité de la méthode et de l'importance qu'il y a, au point de vue de l'étude des ondes tiers et quart diurnes d'amplitudes très petites, à tenir compte des termes provenant de la variation des coefficients.

Cette même méthode a été généralisée, et les formules s'appliquant à une

onde de degré quelconque ont été exposées dans l'Ouvrage dont il sera question plus loin (*Notions sur les phénomènes des marées*).

Usage du cercle méridien portatif pour la détermination des positions géographiques.

Ce Traité, publié par le Dépôt des Cartes et Plans, était destiné à remplacer celui que M. Laugier avait fait paraître en 1856 pour faciliter l'emploi des instruments méridiens portatifs, alors tout nouveaux. Les transformations qui se sont produites depuis dans leur mode de construction et dans la manière d'observer nécessitaient la publication d'un nouveau guide pratique destiné aux hydrographes et aux géographes, pour lesquels ces instruments tendent à devenir d'un usage courant.

J'ai divisé cet Ouvrage en quatre Parties principales :

Description du cercle méridien;

Installation du cercle;

Observations de passages;

Observations de hauteurs.

Dans la première Partie se trouve comprise, en outre, la théorie succincte des lunettes astronomiques et celle du niveau à bulle d'air. J'ai exposé, à l'occasion de la mise au point des lunettes, quelques considérations qui me semblent justifiées par la nécessité de tenir compte de la faculté d'accommodation de l'œil. J'ai pu constater par expérience combien on est exposé à se tromper en essayant de mettre au point et je crois avoir donné l'explication de ces anomalies en montrant de quelle manière doit se produire l'action physiologique de l'accommodation de l'œil, qui est tout instinctive et exposée par suite à certaines illusions.

J'indique une méthode pour trouver rapidement, sans le secours du dynamètre, une valeur très exacte du grossissement des lunettes.

La théorie du grand niveau est exposée plus simplement qu'on ne le fait d'habitude; il en est de même de celle du pointé nadiral.

Un paragraphe spécial est consacré à des conseils pratiques sur la manière de poser les fils dans les cas, malheureusement trop fréquents, où ils viennent à se rompre en cours de campagne.

Dans le Chapitre suivant, *Installation du cercle*, j'indique toutes les précautions à prendre par l'observateur pour choisir l'emplacement de sa cabane, construire son pilier, installer et rectifier son instrument.

La troisième Partie, *Observation des passages*, traite de la détermination de l'heure et de la longitude par la méthode des culminations lunaires. Dans la théorie des erreurs instrumentales, j'ai reproduit les formules dont il a été question plus haut, qui tiennent compte des déviations provenant de la réfraction et de la parallaxe. Les méthodes d'observation sont adaptées aux dispositions actuelles des instruments méridiens portatifs, dont les micromètres sont généralement pourvus de fils mobiles. Plusieurs paragraphes sont consacrés, sous un titre spécial, à l'emploi de la mire méridienne, peu usitée à l'époque où M. Laugier a rédigé son Traité. J'indique, à l'occasion de la réduction des observations incomplètes, un procédé que je crois nouveau et qui est plus rapide que le procédé ordinaire quand les fils manquants sont moins nombreux que les passages observés. Enfin je donne un exemple d'observations de passages, en transcrivant, carnet compris, la série des calculs exigés par une série complète. Le Chapitre se termine par l'exposé de la méthode des culminations lunaires; le calcul de la longitude est obtenu par plusieurs procédés différents.

Dans le dernier Chapitre, *Observations des hauteurs*, j'ai traité de la détermination de la latitude par les observations de culminations d'étoiles. Tout en conservant les méthodes qui s'appliquent aux instruments à verniers, dont il existe de nombreux modèles, j'ai insisté plus spécialement sur l'usage des instruments à microscopes, qui sont seuls susceptibles de donner des résultats parfaits. J'ai cité précédemment quelques-uns des résultats obtenus avec l'un de ces instruments : ils ne laissent rien à désirer au point de vue de la détermination de la latitude. Dans l'exemple cité et développé comme pour les observations de passages, la verticale a été déterminée au moyen du pointé nadiral sur le bain de mercure. Les calculs ont été examinés en détail, de manière que toutes les opérations fussent successivement passées en revue.

J'ai examiné ensuite la méthode d'observation qu'il convient d'employer en l'absence du bain de mercure, et j'ai exposé en dernier lieu, très succinctement, le principe de la méthode de Talcott.

Dans une Note insérée à la fin du Volume, j'ai adapté aux formules de réduction de Mayer, encore employées au Dépôt des Cartes et Plans, la méthode de M. Yvon Villarceau, permettant d'arriver à la détermination exacte du fil sans collimation. M. Yvon Villarceau avait exposé cette méthode dans l'hypothèse où l'on ferait usage des formules de Bessel.

Mesure de la déclinaison magnétique au moyen du petit théodolite
(3 février 1880).

Ce Mémoire, inséré dans le XIII[e] Cahier des *Recherches sur les chronomètres et instruments nautiques*, contient la théorie du dispositif imaginé par M. Bouquet de la Grye pour être adapté, en vue de la détermination de la déclinaison magnétique, sur les petits théodolites employés pour la topographie ou la triangulation du troisième ordre.

L'excentricité des lunettes, la difficulté qui en résulte pour corriger l'erreur d'inclinaison de l'axe horizontal et celle de collimation, le changement de collimation produit par la disposition en avant de l'objectif d'une lentille transformant la lunette en microscope servant à pointer les aiguilles aimantées, toutes ces causes réunies pouvaient introduire dans les observations une série d'erreurs qu'il importait de connaître pour les corriger au besoin ou en tenir compte.

J'ai traité la question au point de vue le plus général, en employant les formules de la Géométrie analytique à trois dimensions. Je cherche l'équation du cône décrit par l'axe optique de la lunette dans son mouvement autour de l'axe horizontal de l'instrument, et j'arrive très simplement à exprimer les valeurs des rotations accomplies dans le sens azimutal par la lunette, quand elle vise successivement les deux extrémités des aiguilles; de là résultent les valeurs des lectures moyennes correspondant aux moyennes de tous ces pointés et une évaluation de l'erreur commise sur la déclinaison magnétique.

J'examine successivement les effets dus au réglage imparfait de la boîte qui renferme l'aiguille et du pivot qui la supporte, les conséquences d'une inégalité de longueur des deux portions nord et sud de l'aiguille et d'un défaut de coïncidence de l'axe magnétique avec l'axe de figure. Je cherche enfin si un déplacement symétrique de la boîte, que l'on peut transporter à l'ouest ou à l'est de l'axe vertical du théodolite, peut être de quelque utilité au point de vue de la compensation des erreurs.

Les conclusions de ce travail sont :

1° Que les observations croisées, dans les deux positions susdites de la boîte, n'éliminent pas les erreurs dues au défaut de réglage;

2° Qu'il faut s'attacher de toute façon à corriger ces erreurs avant d'employer l'instrument.

J'indique un procédé simple et commode pour obtenir le réglage parfait de la boite et de l'aiguille, et je propose dans ce but une disposition spéciale facilitant ces opérations. Cette disposition a été adoptée par le Service des instruments du Dépôt de la Marine.

Lunette à mercure.

J'ai proposé un modèle particulier de lunette destinée à fournir immédiatement la direction d'une ligne horizontale. Adaptée sur un instrument à réflexion, elle permet de mesurer directement la hauteur d'un astre sans le secours d'un horizon à glace ou à fluide.

Voici en quoi consiste cette disposition : que l'on imagine un réservoir cylindrique annulaire entourant l'objectif d'une lunette, et dans ce réservoir du mercure dont la surface libre vienne à la hauteur du centre optique quand la lunette est horizontale. Ce réservoir communique, au moyen d'un tube, avec un espace cylindrique limité par la surface intérieure du porte-oculaire et deux petites glaces circulaires très rapprochées disposées perpendiculairement à l'axe de la lunette et de manière à comprendre entre elles le foyer principal de l'objectif. En vertu du principe des vases communiquants, le niveau du liquide dans les deux réservoirs se trouve dans un même plan horizontal, et, si la surface du réservoir objectif est très grande relativement à celle du réservoir oculaire, les diverses inclinaisons que peut recevoir la lunette n'altèreront pas l'horizontalité de la ligne qui va du centre optique de l'objectif à la surface du réservoir oculaire. Dans ces conditions, tout rayon lumineux provenant d'un point qui vient former une image coïncidant avec cette surface sera exactement horizontal.

En adaptant cette lunette sur un sextant, on reconnaitra que le rayon solaire réfléchi par le miroir est horizontal, à ce fait que l'image de l'astre viendra en contact avec la surface libre du liquide. La lecture du limbe indiquera, pour ce moment, la hauteur apparente de l'astre.

On voit que cette disposition offre l'avantage, qui n'est pas en général réalisé pour les instruments à niveau, de ne pas exiger l'horizontalité de la lunette comme une condition rigoureuse de la mesure.

Le Comité hydrographique a approuvé la construction de cette lunette, qui a été exécutée par le Service des instruments du Dépôt des Cartes et Plans.

Pendule Foucault.

J'ai modifié un peu une démonstration donnée par M. Bertrand (*Comptes rendus*, 13 février 1882), et j'ai montré que la rotation élémentaire du pendule de Foucault avait la même expression que la quantité connue en Géodésie sous le nom de *convergence des méridiens*.

La Note a été insérée dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* (6 mars 1882).

Emploi des constructions graphiques pour le calcul des positions de points de triangulation.

J'ai indiqué, en 1883, un procédé graphique de détermination rigoureuse des points visés de plusieurs points connus et de ceux auprès desquels on a fait station, en mesurant les angles formés par les directions des lignes, allant à d'autres signaux déterminés.

Le premier de ces problèmes correspond graphiquement à l'intersection de plusieurs droites, qui passent par le même point; au second répondent les intersections des segments capables des angles mesurés.

Les solutions graphiques ont l'avantage incontesté de parler aux yeux, de fournir, par un simple coup d'œil, des renseignements très nets sur le degré d'approximation possible des procédés de mesure et sur le degré de confiance que l'on peut accorder aux observations. Elles procèdent, du reste, bien plus rapidement que le calcul; mais, pour être praticables, les constructions sur le papier doivent être faites à une échelle relativement petite, limitée par les dimensions forcément restreintes des instruments graphiques. Le calcul conserve donc tout l'avantage qu'il possède au point de vue de la précision, quoiqu'il soit long et impuissant à rendre compte rapidement de la valeur d'un résultat.

La méthode que j'ai développée dans une brochure, publiée par le Dépôt des Cartes et Plans, réunit les avantages des deux systèmes, la précision du résultat obtenu par le calcul et la clarté que donnent les constructions graphiques. Elle consiste à opérer, à échelle aussi grande que possible, $\frac{1}{10}$ de grandeur naturelle si l'on veut, et à se servir du calcul pour déterminer, sur cette portion de plan qui ne peut embrasser qu'une étendue très res-

treinte, les positions des lieux géométriques, droites ou segments capables, dont les intersections fournissent le point cherché.

Soit, par exemple, à calculer la position d'un point que l'on a relevé de plusieurs autres bien déterminés. L'observation a fait connaître le gisement de chacun de ces relèvements; en les portant sur la feuille de construction ordinaire, on obtient graphiquement, par leur intersection commune, le point cherché, dont les coordonnées approchées peuvent être mesurées sur le papier. Au moyen de ces coordonnées et de celles de l'un des points de station connus, on calcule le gisement de la ligne qui les joint; comparant cette valeur à celle que fournit l'observation, on obtient, par différence, une quantité angulaire généralement très petite dO, qui, multipliée par la distance des deux points, donne l'écartement des deux droites passant l'une par le point approché, l'autre par le point exact.

Graphiquement parlant, ces deux droites doivent être considérées comme parallèles. Si donc on place, d'une manière quelconque, sur une feuille de papier, le point approché, et si l'on mène par ce point une droite orientée suivant le gisement observé, on obtiendra le relèvement véritable du point cherché, en menant une parallèle à cette droite à une distance représentant, à l'échelle que l'on voudra, l'écartement calculé précédemment. On opérera de la même manière sur tous les relèvements, et la position du point cherché s'obtiendra par l'intersection commune de toutes les droites ainsi tracées. Les coordonnées véritables se déduiront des coordonnées approchées, au moyen des corrections que l'on aura mesurées sur le papier, et qui, par suite de la dimension adoptée pour l'échelle, auront l'approximation voulue.

La même méthode est appliquée à la détermination d'un point, d'où l'on a mesuré les angles que font entre elles les lignes allant à des points connus. Par une construction préliminaire à l'échelle du plan, on détermine la position approchée du point de station; on calcule les relèvements des droites joignant ce point approché aux signaux connus et, par différences, les angles que ces droites font entre elles.

L'angle ainsi obtenu, pour deux signaux quelconques, n'est pas, en général, égal à l'angle observé; dO désignant leur différence, dx et dy les corrections des coordonnées approchées, on établit sans peine une relation du premier degré, de la forme

$$a\,dx + b\,dy = dO,$$

qui est celle d'une droite, la tangente au segment capable, rapportée à des

axes passant par le point approché. On porte graphiquement cette droite, ainsi que toutes celles que l'on obtient de la même manière, sur un dessin construit à très grande échelle, et l'intersection commune de toutes ces lignes fournit, par une mesure directe, les valeurs de dx et dy qui représentent les corrections de la position approchée.

Ces méthodes ont été adoptées au Dépôt des Cartes et Plans ; elles sont couramment appliquées aujourd'hui en remplacement des anciens calculs. L'expérience a montré qu'elles apportent une notable simplification à la détermination des positions des signaux, quand on veut appliquer le calcul par la station. Elles peuvent, du reste, rendre service dans les cas assez fréquents où l'on possède, pour un point inconnu, des données de nature mixte, relèvements depuis des points connus et angles mesurés directement, que font entre eux d'autres signaux.

Notions sur le phénomène des marées.

Cet Ouvrage est la rédaction des Leçons faites aux élèves-hydrographes, pour les initier aux lois du mouvement de la mer. Il se compose de deux Parties principales : la première donne, sous forme très élémentaire, une explication, que je crois suffisante, du mode d'action des astres pour produire le flux et le reflux ; la seconde, complément nécessaire et correctif de l'étude théorique, impuissante à se plier à la réalité des faits, traite succinctement du phénomène tel que nous le montre l'observation.

Au sujet de la première Partie, j'ai à me justifier, aux yeux des savants analystes qui ont poursuivi et complété l'œuvre de Laplace, d'avoir simplifié les théories de la Mécanique céleste ; j'espère y arriver en exposant le but et les résultats principaux du travail que j'ai entrepris.

Le mouvement périodique du niveau de la mer est, pour l'hydrographe, un phénomène d'une importance capitale ; la réduction des sondes à un niveau uniforme dépend de l'observation exacte de la marée ; l'étude de ce mouvement et de ceux qu'il entraîne est de toute rigueur pour fournir des données indispensables aux navigateurs : elle est, en quelque sorte, centralisée au Dépôt des Cartes et Plans ; c'est, enfin, à l'un des ingénieurs hydrographes, M. Chazallon, qu'est dû le premier annuaire, suivi depuis de beaucoup d'autres, où l'on trouve le Tableau calculé, par avance, des pleines et basses mers dans les principaux ports de France, pour tous les jours de

l'année. On comprend, pour ces raisons, que les marées tiennent le premier rang dans nos préoccupations scientifiques; l'étude théorique du phénomène est le but que l'on a devant soi en commençant la carrière ; il est malheureusement vrai que ce but est rarement, pour ne pas dire jamais, atteint. Le peu de loisirs dont on dispose ne suffise pas pour le travail assidu qu'exige l'étude des Traités de Mécanique céleste, où la théorie des marées est exposée dans son intégrité, mais il faut ajouter aussi, dans sa haute transcendance, et l'on est assez vite rebuté, après avoir fait quelques tentatives infructueuses pour aborder ces matières ardues.

La difficulté du problème tient, je crois, en grande partie à la rigueur que l'on apporte à prendre en considération l'action de la masse liquide sur elle-même; cette action est nécessairement faible, le rapport de la densité de l'eau à celle de la terre étant lui-même assez petit, mais son expression analytique entre d'une manière très complexe dans l'équation du problème, car il faut tenir compte, pour évaluer le déplacement du liquide, du changement des forces attractives dû à ce déplacement même. On se trouve amené, du reste, à faire dépendre l'étude des marées de l'étude préliminaire de l'attraction des sphéroïdes; c'est-à-dire à doubler, en quelque sorte, l'étendue du sujet à embrasser. Il faudrait, pour y parvenir, beaucoup plus de temps que n'en laissent les occupations techniques, et, de guerre lasse, on en arrive presque toujours à délaisser l'étude théorique pour ne s'attacher qu'aux résultats, quand on parvient à les démêler, et plus spécialement encore aux données pratiques fournies par l'observation.

Les notions que l'on possède sur le mode de production du phénomène des marées sont donc généralement incomplètes, et les idées les plus erronées se transmettent par une sorte de tradition antiscientifique. L'une des plus répandues fait de la marée un mouvement exclusivement vertical; c'est, dit-on, une ondulation qui, de même que pour la lumière, se produit normalement à la direction de sa propagation. Il n'y a pas d'idée qui fausse plus radicalement la conception du phénomène; il n'y en a pas de plus contraire, à première vue, au bon sens, et cependant elle est généralement acceptée. J'en pourrais citer bien d'autres provenant de la même cause : l'extrême complication d'une théorie qui prétend ne rien négliger dans la mise en équation du problème des marées.

Il me semble qu'il y a plus d'avantages que d'inconvénients à simplifier la théorie, en sacrifiant même un peu de sa rigueur, pourvu toutefois que la loi générale du phénomène n'en soit pas altérée. C'est ce que j'ai fait dans

la première Partie de mon travail, qui, je l'espère, vient combler une lacune en présentant la théorie des marées sous une forme élémentaire qui la rend accessible sans une étude préliminaire longue et difficile.

Voici, en peu de mots, quelle est la marche suivie dans cette étude. Supposant la Terre sphérique et la gravité dirigée vers le centre de la sphère terrestre, je calcule l'action des astres sur un point matériel situé à sa surface. Cette action est extrêmement faible, car elle n'atteint, pour la Lune, qu'un douze-millionième de celle de la pesanteur; il n'en peut donc résulter de mouvement que pour un point matériel assujetti à décrire une ligne horizontale. J'étudie ce mouvement pour un point maintenu sur une ligne horizontale parallèle à l'équateur terrestre, et je trouve qu'il est périodique et pendulaire. Cette étude met immédiatement en lumière une augmentation de l'action lunaire, plus forte que ne l'indiqueraient sa masse et sa distance comparées à celles du Soleil. L'augmentation provient de la durée plus grande du jour lunaire, les formules le montrent sans difficulté, tandis que celles de la Mécanique céleste, qui, pour simplifier, n'envisagent que la seule période de la révolution de la Terre, ou du jour sidéral, sont impuissantes à le faire voir.

Je suppose ensuite que ce mouvement ainsi défini soit celui des molécules liquides remplissant un canal qui entoure l'équateur terrestre; des considérations géométriques très simples font voir qu'il en résultera pour la surface un déplacement périodique semi-diurne et pendulaire, la basse mer se produisant au moment du passage de l'astre au méridien supérieur ou inférieur.

Ce premier aperçu ne peut donner qu'un résultat approché, car on a admis que les molécules liquides se meuvent indépendamment les unes des autres; l'étude plus complète montre qu'à l'amplitude près de la marée, le phénomène suit la même loi tant que la profondeur du canal est inférieure à 22^{km}. En discutant les conditions du problème, j'arrive à un résultat important qui me paraît n'avoir pas été signalé encore : c'est qu'à la limite de profondeur ci-dessus correspond une période naturelle d'oscillation du liquide égale à la période d'action des forces attractives des astres.

Quand la première période est plus longue que la seconde, le mouvement est pendulaire, c'est-à-dire que la position des molécules liquides est directement opposée à celle qu'elles prendraient dans l'hypothèse où elles obéiraient instantanément à l'action des astres; dans le cas contraire, c'est vers ce régime de l'équilibre qu'elles tendent constamment, et la pleine mer se produit alors au moment du passage de l'astre au méridien.

J'étudie de même le mouvement d'une masse liquide renfermée dans un canal perpendiculaire à l'équateur, lequel obéit à une loi analogue. Il ressort de l'ensemble de ces considérations que le phénomène des marées consiste essentiellement en un courant horizontal qui provoque, par le conflit des vitesses inégales, une accumulation ou une diminution du liquide sur un point déterminé, entraînant le phénomène accessoire de l'exhaussement ou de l'abaissement du niveau.

Après avoir examiné les mouvements du liquide dans un canal continu, je suppose le canal barré en un ou plusieurs endroits, et je montre le changement considérable qu'amènent ces nouvelles conditions. On se rend aisément compte de l'influence perturbatrice que peut exercer la présence des côtes qui barrent effectivement la mer et empêchent la circulation normale des courants de marée. Il devient manifeste que le phénomène peut se trouver modifié du tout au tout.

Ces résultats, qui se déduisent si aisément des formules, grâce au choix de conditions simples permettant la résolution des équations du mouvement, suffiraient à justifier la méthode adoptée dans ce travail, en dehors des considérations qui ont été précédemment exposées.

Les mêmes équations, où l'on suppose l'action des astres réduite à zéro, conviennent à la propagation des ondes dérivées dans un canal; elles répondent encore au cas idéal où cette action cesserait subitement après s'être exercée. Quoique irréalisable, ce point est intéressant à étudier au point de vue de la période naturelle des ondes; je retrouve, par une voie différente, les résultats obtenus précédemment en comparant le mouvement d'une molécule de la surface à celui d'un pendule simple.

J'ai été conduit par la force des choses à adopter pour toute cette étude les équations de l'Hydrodynamique, basées sur la considération des vitesses. Laplace et, après lui, M. Resal ont employé, pour la solution du problème général des oscillations sur une sphère entièrement couverte d'eau, les équations intégrales où la vitesse est remplacée, comme variable, par l'écartement d'une molécule de sa position d'équilibre. Pour conserver plus d'unité à mon travail, j'ai appliqué au problème général les équations où la vitesse entre comme variable et j'ai obtenu, d'une manière très simple, les principaux résultats de la Mécanique céleste.

En résumé, la partie théorique de l'Ouvrage, tout en se bornant à l'étude de cas particuliers choisis de manière à être accessibles au calcul, fournit, je crois, une indication très suffisante du mode d'action des forces pour produire les oscillations du niveau de la mer. Elle montre très nettement,

ce qui me paraît essentiel, à établir que ce phénomène est accessoire et qu'il n'est que la manifestation extérieure du phénomène principal, lequel consiste en courants horizontaux trop faibles pour être directement perçus. Elle montre encore que l'augmentation de l'action lunaire, constatée empiriquement par Laplace, tient à sa durée plus grande, et enfin elle fait voir en quoi le régime des oscillations pendulaires diffère du régime de l'équilibre par la considération des périodes naturelles d'oscillation des liquides.

La partie pratique, qui commence au Chapitre VI, ne sera pas, je l'espère, d'une moindre utilité. Elle donne un résumé des faits que l'observation a permis de constater quant aux manifestations variées du phénomène des marées et fournit, sous une forme nouvelle, des règles pour le calcul des heures et hauteurs de la marée sur la côte de France. La question des ondes sous-multiples du demi-jour est envisagée au point de vue théorique et pratique ; j'espère avoir réussi à bien préciser le caractère de ces ondes, de manière à les séparer nettement des ondes astronomiques.

Le Chapitre VII, qui termine l'Ouvrage, traite de l'observation de la marée et de la décomposition des courbes obtenues par le marégraphe. J'ai donné plus de développement à ce dernier sujet, car la méthode exposée est entièrement nouvelle. Elle est basée sur l'application de la formule de Fourier, dont les coefficients sont calculés au moyen d'intégrales définies.

C'est, du reste, une généralisation de la méthode que j'avais développée précédemment pour les ondes astronomiques ordinaires. Les formules auxquelles j'arrive sont, par le fait de cette méthode, complètement indépendantes du nombre d'ordonnées que l'on choisit pour représenter les courbes, et conviennent notamment pour le cas où les quadratures seraient obtenues au moyen d'une intégration; mais je trouve que, dans le cas même où l'on emploierait les procédés de quadrature approximative, le résultat est exact, pourvu que le nombre des ordonnées adopté pour la période soit supérieur au double du degré de l'onde la plus élevée. Si, par exemple, l'onde la plus élevée avait pour durée la moitié de la période (onde semi-diurne), il suffirait théoriquement d'employer quatre ordonnées. Les irrégularités de la courbe obligent naturellement à en prendre un plus grand nombre.

La méthode employée jusqu'à présent est celle de Chazallon, qui procède par la résolution systématique des équations de condition en nombre égal à celui des divisions de la période. C'est au fond la même, sous une forme un peu différente, mais elle manque de généralité par ce fait qu'elle exige

l'établissement de formules nouvelles chaque fois que l'on change le nombre des ordonnées de la courbe.

Intégrateur spécialement destiné à la décomposition des courbes de marées.

J'ai proposé, dans le courant de l'année 1884, un modèle d'intégrateur, dont le but était d'obtenir rapidement les valeurs des intégrales définies de la forme suivante :

$$\int_0^{2\pi} y \cos n x \, dx, \quad \int_0^{2\pi} y \sin n x \, dx.$$

Le dépouillement des courbes de marégraphe au point de vue de la recherche des ondes élémentaires de la marée entraîne une série d'opérations de cette nature. Le nombre entier n indique le degré de l'onde recherchée. Quand sa valeur est zéro, l'intégration fournit la hauteur du niveau moyen qui dépend de la simple quadrature de la courbe. Certains modèles de marégraphes, tout récemment construits en Allemagne, sont munis, dit-on, d'un dispositif spécial réalisant ce dernier objectif; un appareil d'intégration permet d'obtenir la valeur $\int_0^{2\pi} y \, dx$.

L'appareil que je propose devrait fournir indifféremment toutes les ondes, en permettant de prendre pour n un nombre entier quelconque.

Voici en quoi il consisterait :

Un axe vertical portant à son extrémité supérieure un plateau circulaire

Fig. 1.

horizontal AB (*fig.* 1) est monté sur un chariot mobile qui parcourt une ligne droite parallèle à l'axe des abscisses ou des heures, la feuille étant

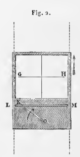
disposée elle-même dans un plan horizontal. Le mouvement du chariot imprime une rotation proportionnelle au plateau par une communication de mouvement telle qu'elle n'empêche pas un déplacement arbitraire de la monture du plateau par rapport au chariot dans le sens des ordonnées ou des hauteurs de la mer. Ce déplacement est provoqué par une tige conductrice parallèle aux ordonnées et portant à son extrémité un style que l'on promène à la main sur la courbe.

Sur le chariot sont fixées deux autres pièces :

1° Un axe horizontal portant à l'une de ses extrémités un disque vertical CD appuyant sur le plateau et entraîné par lui dans son mouvement et, à l'autre extrémité, un disque parallèle EF;

2° Un deuxième axe horizontal O (*fig.* 2), indépendant de celui-ci, en-

Fig. 2.



traîne comme le plateau dans une rotation proportionnelle au mouvement du chariot et portant une manivelle qui, au moyen d'un bouton à glissière, élève et abaisse successivement un châssis vertical guidé dans son mouvement par deux glissières verticales.

Ce châssis sert de support à un disque horizontal GH, appuyé sur le disque EF et tournant avec lui. Ces deux disques ont même diamètre, et la rotation du dernier est évaluée par la lecture de la division de la tranche qui se trouve en regard d'un index fixe.

La *fig.* 2 représente la disposition du châssis; la manivelle OK se termine par un bouton qui glisse dans la fente KM et entraîne par suite le châssis dans un mouvement représenté par le sinus ou le cosinus de l'angle de rotation. Au moyen de divers embrayages, on peut faire varier le rapport

du mouvement de rotation de l'axe O au mouvement du chariot, de manière que la manivelle décrive 1, 2, ..., *n* tours, pendant que le chariot parcourt la période de la courbe. On peut, d'autre part, faire varier la position de la manivelle, de manière que, suivant les cas, la distance du châssis à sa position moyenne représente le sinus ou le cosinus de l'abscisse. Dans ces conditions, l'angle dont aura tourné le dernier disque GH représente l'une ou l'autre des intégrales dont la valeur est cherchée.

J'ai dû donner avec quelques détails cette description, la Note accompagnant le projet d'appareil n'ayant pas été publiée. Elle est entre les mains du chef du service des instruments, au Dépôt de la Marine. Les études que j'avais commencées en 1884 ont été interrompues par la Mission de Corse, à laquelle j'ai dû consacrer tout mon temps depuis cette époque.

Annuaire des marées.

Après avoir été collaborateur de M. Gaussin pour la rédaction de l'*Annuaire des marées*, je suis chargé, depuis 1883, de la publication de cet Annuaire. Le calcul des heures et hauteurs des pleines mers de Brest se fait encore au moyen de la méthode inaugurée par M. Chazallon en 1839, et que l'on se transmet par une sorte de tradition, en l'absence totale d'indications écrites de l'auteur. Les résultats fournis par ce calcul sont entièrement d'accord avec ceux de l'observation, en ce qui concerne la hauteur de la marée. Il subsiste, quant aux heures de la pleine mer, une petite erreur qui s'élève à cinq minutes dans le voisinage des mortes eaux, erreur que l'on corrige après coup au moyen d'une Table dont les nombres ont été déterminés empiriquement par M. Gaussin.

En cherchant à analyser la méthode Chazallon, j'ai trouvé la raison théorique de ces différences, qui pourraient s'élever à dix ou douze minutes, s'il n'y avait pas heureusement une compensation partielle d'erreurs provenant de ce fait signalé par Laplace, que l'établissement, ou plutôt l'heure de l'onde solaire, n'est pas exactement la même en vive et en morte eau. J'ai indiqué le moyen de corriger la méthode Chazallon dans une Note qui n'a pas été publiée. La formule à laquelle je suis parvenu est, du reste, reproduite dans le Traité dont j'ai fait mention plus haut (*Notions sur les marées*, § 75).

Emploi des boules-panoramas comme signaux de Géodésie.

Par une Note insérée dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, le 7 décembre 1885, j'indique les résultats obtenus au moyen des boules sphériques réfléchissant la lumière du Soleil dans une direction quelconque. Ils sont de nature à permettre l'utilisation de ces boules comme signaux de triangulation dans certains cas déterminés.

Notions sur le phénoméne des marées.

Dans la séance du 21 décembre 1885, l'Académie a bien voulu me décerner une fraction du prix de la Marine pour ce travail, dont il a été question précédemment.

Construction par double alignement.

Les *Annales hydrographiques* (2ᵉ semestre 1885) ont inséré cette Note, dans laquelle je traite, graphiquement et par le calcul, un cas particulier de détermination de positions trigonométriques. Deux points inaccessibles, connus de position, étant donnés, ainsi que deux points inconnus en chacun desquels on a pu faire station et viser les trois autres, déterminer les positions de ces deux derniers. Le problème comporte deux solutions : l'une directe, probablement nouvelle; l'autre obtenue par la méthode des fausses positions, dont le principe m'a été indiqué par le géomètre en chef du Cadastre en Corse. Les deux méthodes sont appliquées au calcul d'un exemple choisi parmi les données de la triangulation de la côte orientale.

Définition et emploi des coordonnées azimutales.

Dans ce Mémoire, présenté à l'Académie le 1ᵉʳ mars 1886, il est question d'un nouveau système de coordonnées définissant la situation des points géodésiques. Le seul système adopté généralement est celui des coordonnées sphériques, longitude et latitude, qui définit rigoureusement, mais

présente de nombreux inconvénients. Les longueurs ne sont plus exprimées en mesures métriques, mais en mesures angulaires; l'échelle est variable dans le sens Est-Ouest et les coordonnées sont variables elles-mêmes avec l'hypothèse que l'on fait sur la forme du sphéroïde terrestre. Il est impossible de penser à recourir aux longitudes et latitudes quand on veut trouver rapidement la situation relative de points voisins, pour établir un levé topographique par exemple.

Aussi faut-il joindre à ces coordonnées le Tableau des triangles, assemblage de mesures hétérogènes, qui sont aux positions des points ce que des équations à plusieurs inconnues sont par rapport à leurs solutions explicitement exprimées. Qu'un point résulte, par exemple, de deux triangles différents n'ayant que ce sommet commun, il sera difficile de dire si sa position est la même dans les deux cas, tandis que la vérification serait immédiate avec un système de coordonnées correspondant d'une manière simple aux données de la triangulation.

Les ingénieurs hydrographes emploient, dans ce but, les coordonnées rectangulaires, qui ne sont autres que les coordonnées cartésiennes des sommets des triangles après rabattement successif de tous les triangles sur le même plan. On conçoit tout ce que cette définition a d'imparfait; ce système n'a évidemment de signification que dans une étendue de terrain très limitée. Après plusieurs rabattements successifs, les positions des points sont faussées de quantités difficiles à définir théoriquement et, si la chaîne fait retour sur elle-même, il n'y a pas de vérification possible.

Le système que j'ai proposé se confond avec celui des coordonnées rectangulaires dans le voisinage de l'origine et exige des calculs à peine plus compliqués que par leur emploi. Il consiste à définir la position d'un point par sa distance à l'origine mesurée sur le sphéroïde et par l'angle que fait avec la méridienne de l'origine la ligne géodésique réunissant ces deux points; l et Z désignant ces deux quantités, on convient que les coordonnées du point seront

$$x = l \sin Z, \qquad y = l \cos Z.$$

Une pareille projection, toute conventionnelle, déforme évidemment les angles et altère les longueurs à une grande distance de l'origine, mais c'est de quantités rigoureusement définies et qui, il faut le remarquer, ne dépendent que de la valeur générale du rayon terrestre et non des valeurs particulières de l'aplatissement. On peut, sans inconvénient, l'adopter dans ces conditions jusqu'à 200^{km} de l'origine, et pour des distances plus

grandes il suffit de transporter les axes parallèlement à eux-mêmes, en un nouveau point d'origine.

Pour passer des angles mesurés effectivement à ceux de la projection conventionnelle, on applique la formule démontrée et l'on obtient ainsi, après avoir corrigé la base de départ, les éléments du calcul des coordonnées azimutales. On peut encore les déduire des coordonnées rectangulaires au moyen de corrections suivant une méthode développée.

J'ai montré dans le Mémoire en question que les coordonnées ainsi définies pouvaient se prêter à la solution des questions suivantes, qui se présentent en Géodésie :

1° Changement de coordonnées;
2° Détermination et orientation d'une base de longueur quelconque;
3° Reconstitution des triangles;
4° Calcul des points par la station;
5° Compensation méthodique d'un réseau;
6° Calcul des positions géographiques;
7° Calcul rigoureux des distances à la méridienne et à la perpendiculaire.

Un exemple numérique est joint à l'exposé de ces méthodes; il présente une vérification de toutes les formules. Le calcul de la distance de deux points séparés par huit triangles intermédiaires se fait avec la plus grande facilité, et l'on constate que l'emploi des coordonnées rectangulaires entraîne une erreur de 1^{m} sur cette distance.

Valeur théorique de l'attraction locale aux environs de Nice et sur la côte Sud de France.

Comptes rendus, 18 octobre 1886.

Ce travail a été entrepris dans le but de répondre au programme tracé en 1885 par l'Académie des Sciences, pour le concours de Géographie physique. Ce programme prescrivait « d'utiliser les données existantes pour déterminer la valeur théorique de la dénivellation des mers qui résulte de la déviation de la verticale ».

Le procédé employé pour arriver à cette détermination a consisté à diviser la surface horizontale du sol en carrés de 20^{km} de côté et à évaluer la masse formée dans chacun de ces carrés par le relief du terrain, compté à partir du niveau théorique de la mer idéalement prolongé sous les continents.

L'attraction de l'un quelconque de ces volumes partiels s'obtient aisément et, en faisant la somme de ces actions jusqu'aux limites de l'effet sensible, on évalue les composantes de l'attraction totale, sous l'influence desquelles la verticale s'écarte de sa direction normale.

La déviation théorique ainsi obtenue pour Nice était de 53″ dans le sens Nord-Sud. Elle est près de trois fois plus forte que celle que j'ai constatée par l'observation en 1872 (*voir* Notice, p. 9). Le chiffre adopté pour la densité moyenne des roches était 2,7. J'ai essayé ensuite le chiffre 2, chiffre manifestement inférieur à la densité moyenne, et j'ai obtenu 38″, valeur encore deux fois trop forte.

Il n'y a qu'une manière d'expliquer ces divergences considérables : c'est d'admettre, avec M. Faye, que la densité moyenne des roches formées sous les mers est supérieure à celle de l'écorce terrestre sur les continents.

En répétant pour plusieurs points situés entre Nice et la Corse les cubatures précédentes, j'ai obtenu un point où l'attraction dans le sens perpendiculaire à la côte est théoriquement nulle, et, en partant de ce point, la surélévation théorique du niveau de la mer le long de la côte atteint la hauteur de 15^{m} environ. Il est clair, d'après ce qui précède, que cette surélévation théorique est plus grande que celle qui peut exister en réalité.

Les mêmes déterminations ont été répétées pour un certain nombre de points de la côte Sud de France et ont conduit à des résultats analogues : augmentation très notable de la déviation théorique vis-à-vis de celle qui est constatée par l'observation.

L'Académie a bien voulu couronner mon travail, en me décernant le prix Gay le 27 décembre 1886.

Erreurs inhérentes au système des coordonnées rectangulaires.

Comptes rendus, 26 mars 1888.

L'un des cas dans lesquels l'emploi des coordonnées rectangulaires doit conduire aux résultats les plus erronés est celui d'un réseau trigonométrique s'étendant le long d'une courbe fermée. C'est cependant dans ce cas qu'un système de coordonnées bien défini devient indispensable; car on ne peut, sans lui, vérifier l'exactitude des opérations par le retour au point d'origine. J'avais pensé à évaluer l'erreur systématique des coordonnées rectangulaires, en choisissant parmi les triangles de la Carte de France ceux dont l'ensemble forme un contour quadrangulaire complet et en calculant

les positions de leurs sommets en coordonnées rectangulaires et en coordonnées azimutales. Le défaut de concordance obtenu avec ces dernières après le retour au point d'origine donne la mesure de l'exactitude des opérations géodésiques; en retranchant cette valeur de l'erreur parallèle de fermeture des coordonnées rectangulaires, le reste représentera l'erreur systématique qu'entraîne l'emploi de ces coordonnées.

Mais ce calcul, qui ne comporte aucune vérification directe, eût été long et un peu incertain; je suis parvenu à simplifier la tâche en cherchant les données d'un réseau théorique où l'on retrouve alternativement les deux mêmes triangles, dont les sommets sont ceux de polygones réguliers de 24 côtés inscrits dans des cercles de 150^{km} et 180^{km} de côté. Le calcul des coordonnées dans les deux systèmes est rendu facile par la répétition des mêmes valeurs.

L'erreur que doit présenter la position en coordonnées rectangulaires, après la fermeture du réseau, s'élève à 320^{m}, chiffre beaucoup plus considérable que je ne l'aurais supposé. Et cependant on eût pu, comme je le montre ensuite, le retrouver sans ce long calcul numérique par la considération du développement d'une surface conique tangente le long d'un petit cercle de la sphère terrestre, dont l'origine des coordonnées est le pôle. La formule ainsi obtenue fait dépendre cette erreur du cube du rayon du petit cercle; elle serait donc vingt-sept fois plus petite, c'est-à-dire supérieure à 12^{m} pour un rayon trois fois moindre. D'après toutes les idées reçues, une pareille distance de $50\,000^{m}$ à l'origine est très inférieure à la limite d'application des coordonnées rectangulaires.

Les positions des points du réseau ont été exprimées au moyen des coordonnées rectangulaires, des coordonnées azimutales, des distances à la méridienne et à la perpendiculaire, et au moyen du système mixte où les abscisses sont les distances à la méridienne et les ordonnées, les distances des pieds de ces arcs perpendiculaires à l'origine. On peut, dans chacun de ces systèmes, calculer la formule $[(x-x')^2+(y-y')^2]^{\frac{1}{2}}$, qui représentera exactement la distance avec les coordonnées rectangulaires, si les deux points x et x' appartiennent au même triangle. Dans cette hypothèse, on vérifie par deux exemples que les coordonnées azimutales font commettre une erreur inférieure à celle des deux autres systèmes, et la formule corrigeant cette erreur est extrêmement simple. Il faut ajouter qu'elle est assez faible pour pouvoir être négligée graphiquement.

Dans les deux cas, ce sont les distances à la méridienne et à la perpendiculaire qui ont conduit aux résultats les plus erronés.

Sur la détermination d'un point.

Comptes rendus, 19 mai 1890.

Cette Note signalait quelques résultats obtenus dans l'étude, que je poursuivais à ce moment, des calculs de triangulation par coordonnées rectangulaires. L'emploi des constructions graphiques pour la détermination de la position d'un point unique (*voir* ci-dessus) conduit au problème suivant :

Quand un point doit être déterminé par l'intersection commune d'une série de lieux géométriques rectilignes, quelle solution adopter si ces droites ne convergent pas exactement?

Le problème est résolu numériquement par application de la méthode des moindres carrés; au point de vue général, il conduit à quelques résultats qui m'ont paru intéressants. En donnant aux lieux géométriques des poids proportionnels au carré de l'inverse de la distance du point d'où ils émanent et appelant poids d'une solution particulière obtenue par l'intersection de deux droites le produit des poids de ces droites et du carré du sinus de l'angle qu'elles font entre elles, on trouve que la solution moyenne est au centre de gravité d'un système tel qu'en chacune des solutions particulières on applique son poids ainsi défini.

D'après le théorème de Cotes, qui place la position la plus probable au centre de gravité de toutes celles qui ont même degré de probabilité, la définition précédente du poids se trouverait justifiée.

Dans le cas particulier de la résolution d'un triangle déterminé par la mesure de ses trois angles, la position du sommet correspond théoriquement à l'intersection commune de trois lieux géométriques : deux relèvements issus des extrémités de la base et un segment capable de l'angle au sommet. Si la somme des angles mesurés diffère de 180°, ces droites forment trois solutions dont les poids sont égaux. La solution moyenne est au centre de gravité du triangle formé par les trois solutions, et l'on retrouve la règle de la répartition égale de l'erreur de fermeture.

La Note contient encore des propositions relatives aux erreurs moyennes des solutions graphiques.

Des coordonnées rectangulaires.

Comptes rendus, 30 mai 1892.

La publication de ce travail, dont la Note précédente est extraite, a été approuvée par le Comité hydrographique qui avait reconnu son utilité au point de vue de la diffusion des nouvelles méthodes de calcul graphique. La rédaction en était presque achevée quand je dus retourner en mission pour faire la triangulation du cap Corse. Il n'a pu être terminé qu'après la rédaction provisoire de cette mission et il est soumis actuellement, avant sa publication définitive, au jugement de l'Académie qui a nommé une Commission de trois membres pour l'examiner.

Je me suis proposé, dans ce travail, d'étudier théoriquement et pratiquement la détermination des positions absolues de points géodésiques par la méthode générale de corrections de positions approchées supposées connues par avance. Il est divisé en trois Parties :

Détermination des points secondaires;

Exposé de la méthode des moindres carrés;

Détermination des points de premier ordre.

On considère comme point secondaire celui qui est déterminé isolément; les corrections de ses coordonnées provisoires s'obtiendront par la résolution d'un certain nombre d'équations du premier degré de la forme $a\,dx + b\,dy = 0$, quel que soit le genre de données employées. J'examine séparément les diverses méthodes correspondant au cas où ces données sont constituées par des relèvements issus de points connus et au cas où les données sont des angles mesurés au point inconnu entre deux points connus. Les méthodes, en assez grand nombre, correspondant à ces deux cas sont basées sur l'emploi de constructions graphiques à grande échelle. Des exemples numériques complètement traités offrent des types de calculs accompagnés de Tableaux graphiques à l'échelle de $\frac{1}{10}$ du terrain.

Dans la deuxième Partie, j'expose les principes de la méthode des moindres carrés de Legendre et de la théorie des erreurs moyennes, qui pourront être invoqués pour le choix des solutions graphiques et pour la détermination des points de premier ordre. La forme ci-dessus des équations de condition se prête immédiatement à l'application de la méthode. Dans l'article précédent de cette Notice sont mentionnées quelques autres propositions sur lesquelles il est inutile de revenir ici.

La troisième Partie est consacrée au calcul des points de premier ordre, définis par la condition qu'ils sont déterminés simultanément en cherchant les valeurs moyennes des corrections de leurs coordonnées satisfaisant le mieux possible à l'ensemble des observations. Ici encore la méthode de Legendre s'applique immédiatement à des équations de condition qui contiennent chacune une seule observation angulaire et en général six inconnues, les corrections des coordonnées de trois points.

Pour traiter ce problème, j'ai plus spécialement considéré des données obtenues par le moyen d'instruments réitérateurs, c'est-à-dire des directions relatives. Ce fait introduit, pour chaque station, une inconnue auxiliaire, la direction absolue de l'origine des lectures; l'élimination préalable de cette inconnue par les différences deux à deux de n équations aux directions conduit à un nombre $\frac{n(n-1)}{2}$ d'équations aux angles. J'ai reconnu la nécessité de multiplier ces équations par $\sqrt{\frac{2}{n}}$ pour tenir compte des poids dans la résolution des équations finales.

Ces équations déterminent les corrections des coordonnées et les erreurs moyennes de ces inconnues, mais on peut les transformer de manière qu'elles fournissent les corrections des longueurs et des orientations de certains côtés, et en même temps leurs erreurs moyennes; les positions relatives de deux points sont, en effet, plus spécialement considérées par le géodésien.

Le Chapitre se termine par l'étude des erreurs moyennes dans le cas de réseaux partiels successifs. Ce cas est évidemment le plus fréquent, car la compensation générale n'est praticable qu'exceptionnellement. On est donc amené à déterminer des bases successives en faisant porter la compensation sur un petit nombre de points considérés simultanément. Le problème se pose, dès lors, de chercher l'influence de l'erreur d'une base quelconque sur l'erreur moyenne de celle que l'on en déduit.

Ce problème est simple quand il s'agit de la position relative, distance de deux points, orientation de la ligne qui les joint; il devient très complexe quand on considère la position absolue. J'arrive à le résoudre en recourant aux solutions accessoires des équations aux erreurs moyennes. Comme application je détermine l'erreur moyenne de la mesure totale d'un arc terrestre de 3 degrés.

Application d'un système de coordonnées conventionnel à la triangulation des côtes de Corse.

Comptes rendus, 26 septembre 1892.

Ce Mémoire expose les principaux résultats, cités plus haut, de la mission des côtes de Corse. L'extrait pour les *Comptes rendus* mentionne les formules, dont il a été question déjà, qui transforment les coordonnées orthogonales en coordonnées géographiques.

Considérations sur le tour d'horizon.

Annales hydrographiques, 1892.

La question traitée dans ce travail est encore celle de l'utilisation des données obtenues par les instruments réitérateurs au point de vue de la compensation géodésique. Mais j'indique un deuxième mode d'élimination de l'inconnue auxiliaire (direction absolue de l'origine des lectures).

Le premier consistait, comme il a été dit dans l'analyse du Mémoire sur les coordonnées rectangulaires, à faire les différences deux à deux de toutes les équations de condition correspondant aux visées d'une même station; par le deuxième on forme une équation moyenne que l'on retranche de toutes les autres; au lieu de $\frac{n(n-1)}{2}$ équations aux angles, on obtient n équations aux directions dont le poids n'a besoin d'aucun correctif.

Diverses applications ont été développées dans ce travail : entre autres la détermination d'un point unique, avec un exemple numérique emprunté au calcul des positions de la Corse.

C'est, en effet, la méthode qui a été généralement suivie pour la rédaction définitive de cette triangulation.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Avant-propos 3

PREMIÈRE PARTIE.

MISSIONS HYDROGRAPHIQUES ET SCIENTIFIQUES.

Campagne de Cochinchine (1865-1869) 5
Revision de la côte sud de la France (1872) 8
Mission de Port-Saïd (1872) 9
Mission du passage de Vénus à l'île Campbell (1874) 9
Mission du Havre (1875) 10
Mission de la Rochelle (1876) 10
Mission de Brest (1877) 10
Mission du passage de Mercure à Ogden (1878) 10
Mission du passage de Vénus à Chubut (1882) 11
Mission des côtes de Corse (1884) 12
Mission des côtes de Corse (1885) 13
Mission des côtes de Corse (1887) 14
Mission des côtes de Corse (1888) 15
Mission des côtes de Corse (1889) 16
Mission des côtes de Corse (1890) 18
Rédaction définitive 18

DEUXIÈME PARTIE.

MÉMOIRES, PUBLICATIONS, ETC.

Réduction au méridien des observations de passages 21
Calcul de la longitude par les culminations lunaires 21
Détermination de la longitude de Saïgon 22
Détermination de la position géographique de Port-Saïd 22
Micromètre pour l'observation de Vénus 22

Pages.
Orientation du châssis de l'appareil photographique de Vénus.......... 23
Actions des courants sur les lignes de sonde.......... 23
Décomposition de la marée en ondes élémentaires.......... 25
Usage du cercle méridien portatif.......... 27
Mesure de la déclinaison magnétique, au moyen du petit théodolite.......... 29
Lunette à mercure.......... 30
Pendule Foucault.......... 31
Emploi des constructions graphiques pour le calcul des positions de points de triangulation. 31
Notions sur le phénomène des marées.......... 33
Projet d'intégrateur destiné à la décomposition des courbes des marées.......... 38
Annuaire des marées.......... 40
Emploi des boules-panoramas comme signaux de Géodésie.......... 41
Notions sur le phénomène des marées.......... 41
Construction par double alignement.......... 41
Définition et emploi des coordonnées azimutales.......... 41
Valeur théorique de l'attraction locale.......... 43
Erreurs inhérentes au système des coordonnées rectangulaires.......... 44
Sur la détermination d'un point.......... 46
Des coordonnées rectangulaires.......... 47
Application d'un système de coordonnées conventionnel à la triangulation des côtes de Corse. 49
Considérations sur le tour d'horizon.......... 49

PLANCHE.

19037 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS ET FILS, quai des Grands-Augustins, 55.